



CIRAD-Forêt

IDEFOR

Département Forestier

**Bingerville - ABIDJAN - Anguédédou
République de Côte d'Ivoire**

FORMATION A LA VALORISATION ENERGETIQUE DE LA BIOMASSE LIGNOCELLULOSIQUE

En collaboration avec le

**PÔLE REGIONAL AFRICAIN
DE THERMOCHIMIE**



Ademe



IEPF



RESSOURCE FORESTIERE ET MOBILISATION DE LA RESSOURCE

Louis François Vergnet

Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement,
Montpellier, France.

1 - LES RESSOURCES FORESTIERES

A quelques exceptions près¹, dans les PED, les combustibles ligneux consommés sont prélevés sur les formations ligneuses naturelles et les jachères. Ils correspondent pour l'essentiel aux sous-produits de leur défrichement pour la mise en oeuvre de terres agricoles dans le cadre d'une pratique généralisée de l'agriculture itinérante et de périmètres agro-industriels et résultent d'une exploitation de type cueillette. Les plantations sont en effet récentes, de superficies encore très limitées et mal intégrées aux circuits de production/commercialisation/consommation, actuels (filière bois énergie). Cette situation n'évolue que progressivement. A court et moyen terme l'offre en bois énergie devrait rester essentiellement fonction de la production ligneuse effectivement mobilisable à partir des formations naturelles et des recrûs.

A plus long terme, les ressources artificielles accroîtront leur contribution. Elles résulteront de plantations forestières industrielles "en sec" ou "en irrigué" mais probablement aussi et surtout de la généralisation d'une sylviculture paysanne adaptée développant, notamment dans les zones les plus défavorisées, l'arbre dans les systèmes agraires, sous diverses formes :

- association de l'arbre et des cultures : agro-sylviculture,
- création de bandes, boisées pour un compartimentage du paysage,
- plantations d'environnement, arbres d'ombrage ruraux ou urbains, arbres de case,
- plantations ligneuses rurales (communautaires, familiales ou privées).
- etc...

Dans tous les cas cependant la ressource restera subordonnée aux facteurs écologiques de base qui conditionnent pour l'essentiel, en chaque lieu, la productivité des formations ligneuses qu'elles soient naturelles ou artificielles et induisent, pour une part importante, l'offre escomptable et les actions envisageables.

¹ Approvisionnement en bois de chauffe d'Addis Ababa, du pays Bamiléké (Cameroun) à partir de plantations d'Eucalyptus par exemple. Approvisionnement de plus en plus large de la sidérurgie brésilienne avec du charbon de bois produit à partir de plantations d'eucalyptus spécifiques.

Voyons par référence à la zone intertropicale africaine et aux facteurs climatiques de base, dont l'incidence sur la productivité des formations ligneuses apparaît prépondérante, comment se présentent, de manière très schématique, les réalités. On distingue habituellement dans la région:

. **Le domaine sahélien**

sahélo-sahélien, 150 à 300 mm de pluviométrie annuelle.

sahélo-soudanien, 300 à 600 mm de pluviométrie annuelle.

. **Le domaine soudanien**

soudano-sahélien, 600 à 900 mm de pluviométrie annuelle.

soudano-guinéen, 900 à 1 200 mm de pluviométrie annuelle.

. **Le domaine préforestier et forestier**

> 1 200 mm de pluviométrie annuelle.

1.1 - LES FORMATIONS LIGNEUSES NATURELLES

1.1.1 - Croissance et productivité

Une synthèse provisoire des mesures réalisées depuis une trentaine d'années dans la région permet d'avancer les ordres de grandeur suivants :

- 0,05 à 0,1 m³/ha/an pour les savanes et steppes buissonnantes (domaine sahélo-saharien : 150 à 300 mm de pluviométrie annuelle).
- 0,10 à 0,5 m³/ha/an pour les savanes et steppes arborées (domaine sahélo-soudanien, 300 à 600 mm de pluviométrie annuelle).
- 0,5 à 1.0 m³/ha/an pour les savanes boisées et forêts claires (domaine soudano-sahélien, 600 à 900 mm de pluviométrie annuelle).
- 1.0 à 1,5 m³/ha/an pour les forêts claires (domaine soudano-guinéen 900-1 200 mm de pluviométrie annuelle).
- Probablement de l'ordre de 3 à 5 m³/ha/an pour les forêts denses humides (domaines préforestier et forestier > 1 200 mm de pluviométrie annuelle).

Ces chiffres bien entendu concernent des formations non dégradées par une surexploitation ligneuse, une mise en valeur agricole, un pâturage intensif ou des feux annuels systématiques.

1.1.2 - Possibilités d'aménagement des formations naturelles

Des méthodes d'aménagement simples apparaissent aujourd'hui susceptibles de permettre une amélioration de la productivité des formations naturelles tout en assurant leur pérennité :

- traitement en taillis simple, à révolution de 12 à 20 ans, pour les formations sahéliennes et soudaniennes;
- exploitation partielle cadencée des forêts denses humides des domaines préforestiers et forestiers.

Il faut noter que par le passé les actions de développement ont presque totalement négligé les formations naturelles au profit d'opérations de plantations de type industriel.

Le constat d'un certain nombre d'échecs, techniques mais surtout économiques, en zone sahélienne notamment, a cependant récemment mis en évidence tout l'intérêt qu'offraient les formations naturelles et une bonne maîtrise de leur aménagement. Dans les domaines sahéliens et soudaniens, l'aménagement des formations ligneuses naturelles apparaît aujourd'hui comme la base des actions forestières à mener en milieu rural pour la production de combustibles ligneux. Notons qu'il correspond à une action extensive, totalement intégrée au développement rural et que sa mise en oeuvre et sa réussite restent à ce titre directement subordonnées à une acceptation et à une prise en charge par le monde paysan.

1.2 - LES PLANTATIONS FORESTIERES

1.2.1 - Croissance et productivité des plantations pluviales

Elles sont conditionnées par les facteurs climatiques mais aussi par les conditions de sol², l'adaptation des espèces retenues, le degré d'amélioration du matériel végétal, le degré de maîtrise des techniques sylvicoles, enfin le ciblage des produits escomptés.

Dans des conditions optimums, rarement réunies dans les programmes actuels, on peut avancer en plantations industrielles les niveaux de productivité suivants :

- isohyète.....600 mm : productivité de 1,5 à 3,0 m³/ha/an.
- isohyète.....800 mm : productivité de 3,0 à 5,0 m³/ha/an.
- isohyète.....1 000 mm : productivité de 6,0 à 10,0 m³/ha/an.
- isohyète.....1 000 mm : productivité de 10,0 à 40,0 m³/ha/an.

Les productivités maximums doivent être considérées comme exceptionnelles (excellentes conditions de sol en particulier). Les productivités à retenir dans la majorité des cas sont plus voisines des minimums. Notons que l'influence côtière permet, à pluviométrie égale, des productions largement supérieures

1.2.2 - Les limites des plantations pluviales

La réalisation de grands programmes de plantations industrielles en zones forestière, préforestière et soudano-guinéenne s'avère aujourd'hui largement maîtrisée au plan technique et souvent justifiée au plan économique.

Dans la zone sahélienne par contre, les contraintes de climat et de sol rendent difficiles la réalisation de plantations industrielles à haute productivité. Schématiquement et à titre indicatif il apparaît nécessaire de limiter les programmes de reboisements industriels aux zones où la pluviométrie annuelle est égale ou supérieure à 700-800 mm, sauf bien entendu lorsque des conditions édaphiques exceptionnelles compensent une pluviométrie trop faible.

² Un boisement de production est justifiable d'un sol "agricole" idée encore difficilement admise.

Par contre, entre 500 et 800 mm les plantations de surface modeste, en particulier les plantations de type familial en milieu rural (qui tiennent plus de la culture d'arbres), sont envisageables même avec des espèces à croissance rapide. Notons que dans les zones à faible pluviométrie, mais aussi souvent dans les zones plus favorisées l'obstacle majeur résultera encore longtemps du prix de revient des produits de plantations, disproportionné par rapport à celui des produits résultant de la cueillette dans les formations naturelles où le bois sur pied est pratiquement gratuit.

1.2.3 - Les plantations ligneuses irriguées

Dans les zones où le facteur eau apparaît comme le facteur limitant prépondérant on s'est orienté vers des programmes de plantations irriguées (15 à 20 m³/ha/an). Actuellement les réalisations sont peu nombreuses et souvent encore au stade pilote. Si elles semblent souvent maîtrisées au plan technique elles restent très coûteuses. Leur intérêt économique apparaît limité sauf dans les cas : d'une perspective d'irrigation par gravité, de la valorisation de zones délaissées dans le cadre de périmètres hydro-agricoles ou enfin d'une intégration plus importante de l'arbre dans les aménagements agricoles (brise-vent).

1.3 - EN CONCLUSION

Il faut noter que la productivité des formations ligneuses naturelles et des plantations varie donc de 1 à 10 selon les zones considérées, avec une incidence que l'on imagine sur le niveau correspondant de l'offre mais aussi sur le prix de revient des produits ligneux résultant de l'intervention humaine : aménagement des formations naturelles et plantations.

Nous retiendrons qu'aux deux extrêmes :

Dans les zones les plus favorisées le niveau de ressource ne peut être pérennisé par l'intermédiaire de programmes de plantations industrielles. Les deux seules perspectives correspondent à l'aménagement des formations naturelles et à la culture d'arbres (isolés ou en micro-plantations individuelles ou collectives) par les agriculteurs eux-mêmes.

Deux types d'actions qui impliquent une adhésion des agriculteurs ainsi qu'une insertion harmonieuse dans le développement rural et dont la mise en oeuvre reste souvent subordonnée à bon nombre de préalables comme par exemple :

- une réforme des régimes fonciers et de la législation forestière garantissant aux paysans le fruit de ses travaux forestiers,
- la mise en place d'une dynamique rurale nouvelle et adaptée,
- le développement d'une véritable sylviculture paysanne qui correspondrait à confier aux populations la protection et la gestion des arbres,
- la finalisation des actions de recherche appliquée pour mettre à la disposition du monde

rural les techniques indispensables (matériel végétal adapté, techniques de gestion etc...),

- une modification du rôle des services forestiers pour que leurs agents deviennent des conseillers et animateurs efficaces,

enfin et surtout

- que soit apportée ou mise en évidence la preuve palpable de la rentabilité de la culture de l'arbre, seul moyen objectif de faire admettre au monde rural l'intérêt de cette activité et d'obtenir de sa part une adhésion large et durable.

Dans les zones forestières par contre la capacité de régénération des formations ligneuses naturelles et la productivité des plantations garantissent des solutions économiques et harmonieuses à toutes les préoccupations.

Les plantations individuelles visant la commercialisation de "bois énergie" s'y avèrent dans bien des cas susceptibles de supporter la comparaison économique avec les spéculations agricoles d'exportations traditionnelles telles que café et cacao.

2 - LES DIFFERENTES RESSOURCES ET LEUR MOBILISATION

2.1 - PREAMBULE

Les outils de valorisation énergétique de la biomasse fonctionnent d'autant mieux qu'ils sont approvisionnés avec un combustible :

- de taille adaptée (souvent faible),
- d'humidité constante et faible,
- de densité donnée,
- de composition constante.

Plus les techniques sont performantes, plus elles exigent un combustible de qualité constante, certaines d'entre elles ne disposant à cet égard d'aucune flexibilité.

Le tableau ci-après présente les différentes ressources, leurs caractéristiques et les rapproche des contraintes d'utilisations.

LES DIFFERENTES RESSOURCES	CARACTERISTIQUES MARQUANTES	ACTIONS A PRIVILEGIER
Formation naturelles - zones de savanes - zones forestières	<i>Taille variable</i> <i>Diversité espèces</i> <i>Accessibilité</i>	Etudier des conditions de mobilisation: -technique -économique -écologique -sociale
Formation artificielles spécifiques	<i>Homogénéité :</i> -espèce -taille	Technologie à haut rendement pour compenser le coût de la plantation
Sous produits de l'exploitation -forêts naturelles - forêts plantées ou tempérées	<i>Hétérogénéité</i> <i>Homogénéité</i>	Transformation in situ (carbonisation) Conditionnement (fractionnement, densification)
Sous produits des industries du bois	<i>Préconditionnés</i> <i>Relative hétérogénéité</i>	Réalisme économique et social acceptabilité
Sous produits agricoles et agro-industriels	<i>Variabilité des produits mobilisables</i> <i>propriétés difficiles</i> <i>Problème de concurrence</i>	Corrélation des propriétés par la conversion: -carbonisation -torréfaction -densification Réalisme

2.2 - LES PRODUITS RESULTANT DES FORMATIONS FORESTIERES NATURELLES

Le bois utilisé à la production d'énergie, essentiellement récupéré sur les défrichements agricoles, confronte à l'énorme diversité des produits résultant des formations forestières naturelles tropicales.

Les caractéristiques de produits résultant des formations forestières naturelles défrichées diffèrent beaucoup selon la zone écologique concernée : zones "sèches" et zones "humides".

2.1.1 - Les zones "sèches"

En zones de savanes et de forêts sèches, la taille des produits est limitée, plus proche de celle constatée en plantations, mais la diversité des essences et de leurs caractéristiques apparait déjà conséquente. L'exemple suivant pris en zone de formation forestière naturelle Nord Soudanienne (savane arbustive-arborée) permettra de préciser les réalités. On y recense :

- 1) quelques 4 400 tiges à l'hectare dont 500 présentent une circonférence à hauteur d'homme supérieur à 10 cm.

Répartition par classe de circonférence

Circonférence (cm)	% des tiges	% des tiges circonférence > 10 cm
< 10	88,8	
10-20	6,6	58,80
20-30	2,15	19,21
30-40	0,9	7,92
40-50	0,65	5,67
50-60	0,35	3,00
60-70	0,17	1,51
70-80	0,11	0,96
> 80	0,32	2,87

- 2) trois familles botaniques principales :

- . combrétacés (29 à 38 %)
- . rubiacées (18 à 23 %)
- . mimosacées (18 à 20 %).

- 3) plus de 60 espèces dont :

- | | |
|-------------------------------|----------------------------|
| . 7 espèces très abondantes : | plus de 60 % des individus |
| . 10 espèces abondantes : | environ 15 % des individus |
| . 13 espèces peu abondantes : | environ 8 % des individus |
| . 12 espèces rares : | environ 10 % des individus |
| . 14 espèces très rares : | environ 4 % des individus. |

Notons cependant que 11 espèces "Principales" représentent environ 70 % de l'ensemble de la population et 80 % des tiges de circonférence > à 10 cm. Au niveau quantitatif, on estime :

- que le stock de bois par ha est de 36 m³ (30 à 41 m³) ce qui correspond à quelques 115 stères/ha en moyenne,
- que les "petits bois" (circonférence < 10 cm) représentent 30 % environ du volume.

2.1.2 - Les zones humides

En zone de forêt dense, on est confronté à une palette de taille des produits extrêmement large et une palette d'essence et donc de caractéristiques des bois encore élargie. Par exemple, 200 000 ha de formations forestières naturelles ivoiriennes, inventoriés dans les années 50, sont illustrés par les données quantitatives suivantes (Cf tableau ci-dessous) :

Caractéristiques des produits de la forêt naturelle tropicale

Classes de diamètre cm	Volume par ha (m ³)	Nombre de tiges par ha	Volume moyen par tige m ³
20 (15 - 25)	22,9	93,0	0,25
30 (15 - 25)	22,9	33,9	0,78
40 (35 - 45)	30,5	17,5	1,80
50 (45 - 55)	31,5	11,5	3,41
. 55 median du volume fût sur pied			
60 (55 - 65)	27,1	7,0	3,85
70 (65 - 75)	21,8	4,2	5,23
80 (75 - 85)	19,3	2,9	6,78
90 (85 - 95)	12,7	1,5	8,47
100 (95 - 105)	10,4	1,0	10,34
110 (105 - 115)	7,9	0,6	12,42
> 115	26,3	1,3	20,08
TOTAL	245,5	174,4	

Dans ces formations, on recense par ailleurs :

- Plus de 400 espèces différentes, 150 sur un même hectare.
- Des bois dont la densité anhydre varie de 0,3 à 1,2 avec une moyenne de 0,65 g/cm³.
- Des bois dont la teneur en silice varie de 0 à 5 %.
- Des bois dont l'humidité initiale varie de 30 à 70 % sur brut.

2.1.3 - La mobilisation des produits des formations forestières naturelles

Elle se trouve limitée par les caractéristiques des produits et notamment deux caractéristiques prépondérantes :

- la taille des arbres,
- la densité du bois.

Les bois trop gros ne peuvent être débordés et transportés en l'état par l'intermédiaire des techniques manuelles employées par les filières traditionnelles. Le coût de leur fractionnement préalable (tronçonnage, éclatement) les rend moins compétitifs que les produits de diamètre manipulable. Tant que ces derniers existent en quantité suffisante, ils sont donc exploités en priorité. Les bois les plus lourds considérés comme meilleurs bois de feu sont aussi exploités en priorité. Deux options qui aboutissent à n'utiliser que le tiers ou le quart de la biomasse résiduaire sur les défrichements résultant de l'agriculture itinérante en zone forestière (Cameroun 7 Millions de tonnes (Mt) de bois récoltés sur les 25 Mt abattus).

La mobilisation des gros bois et celle des bois légers par une carbonisation in situ par exemple, doit être étudiée en priorité. Elle apparaît de nature à permettre d'accroître sensiblement la contribution énergétique de la biomasse à la satisfaction des besoins énergétiques des pays situés en zone forestière et préforestière tropicale.

La mobilisation des produits forestiers de forte taille par des techniques et matériels lourds d'exploitation de transport et de conditionnement adaptés s'avère coûteuse. Les prix de revient du bois exploité et transporté sur une cinquantaine de kilomètres avoisinent alors ceux pratiqués en Europe pour les produits papetiers ou le bois de feu commercialisé en bûches, c'est-à-dire un prix égal ou supérieur à celui constaté au détail dans les villes africaines par exemple.

2.3 - LES PRODUITS CONNEXES DES INDUSTRIES DU BOIS

2.3.1 - Les sous-produits de l'exploitation forestière

Les houppiers des arbres exploités en forêt dense hétérogène sont peu accessibles (pistes rares, enchevêtrement dans la végétation environnante, branches fracassées...) et d'autant plus dispersés en forêt que celle-ci est pauvre (1 arbre/ha exploité en forêt africaine ou américaine, 1 à 5 en forêt asiatique). Leur récolte exigerait une organisation et des matériels spécifiques et se traduirait par des coûts prohibitifs par rapport à ceux des produits de même catégorie résultant des défrichements agricoles en périphérie des mêmes forêts, produits accessibles et exploitables en coût marginal par les agriculteurs.

2.3.2 - Les produits résultant du conditionnement des grumes de la forêt au parc-usine

Ces produits, plus accessibles que les précédents, correspondent à 20 -25 % du volume sorti de la forêt et abandonné au cours des opérations relatives à la préparation des grumes commerciales au pied de l'arbre mais surtout sur parc de tronçonnage bord de route ou entrée unité de première transformation.

Les coursons résultant de ces opérations sont accessibles et éventuellement mobilisables en coût marginal par les équipements de manutention et de transport des grumes. Leur taille (Diam 60 à plus de 100 cm, longueur variable de quelques dizaines de centimètres à quelques mètres) imposera cependant, avant commercialisation, un conditionnement très couteux : tronçonnage et surtout refente dont la mécanisation exige des équipements puissants et donc des installations surdimensionnées en capacité (niveau d'investissement et taux d'utilisation prohibitifs).

2.3.3 - Les sous-produits de la transformation proprement dite

La transformation du bois génère une grande partie de résidus dont les caractéristiques physico-chimiques sont très diversifiées. On distingue généralement deux grands groupes d'industries : celles de la première transformation, qui travaillent à partir de grumes ou de bois ronds ; et celles de la seconde transformation qui utilisent des bois déjà usinés. L'intérêt de ce type de résidus est d'être concentré sur le site, ce qui facilite leur manutention et leur transport. Les inconvénients majeurs résident dans leur diversité et dans les quantités disponibles, ce qui dépend du volume de matière traitée et du genre d'activité.

2.3.3.1 - Résidus de l'industrie de la première transformation

Les industries de première transformation assurent le débit des grumes ou l'usinage des bois ronds. Le tableau ci-après donne quelques indications quant à la quantité des résidus générés.

Quantité des résidus générés par les industries de première transformation
(Carré et al., 1992)

Industries	Types de résidus	% du volume initial
Sciage	Ecorces	7 à 15
	Dosses et délignures	25 à 40
	Sciure	7 à 12
Déroulage - tranchage	Mise à dimensions grumes	4 à 5
Contreplaqué	Ecorces	10 à 11
	Noyaux de déroulage	4 à 5
	Résidus placages humides	24
	Résidus placages secs	8 à 9
	Poussières de ponçage, sciure	4 à 5
Pieux, tuteurs, poteaux	Ecorce, pointes mises à dimensions, ...	15 à 20

Les chiffres repris par le tableau ci-dessus sont évidemment des ordres de grandeur. En effet, le pourcentage de résidus dépend très largement de la qualité des grumes utilisées et de l'équipement industriel de transformation mis en oeuvre. Les résidus, selon leurs caractéristiques et l'environnement économique, peuvent être utilisés à diverses fins : industrie de la trituration, panneaux lattés ou énergie.

En région tropicale, ces considérations doivent être ajustées en fonction de certaines spécificités :

- Traitement sur place des grumes de second choix → plus de déchets
- Pas de marché intérieur, pour les produits de second choix → plus de déchets
- Grumes de grosse taille (dosse > 100 kg) → produits connexes parfois de grande taille
- Jusqu'à 15 espèces différentes dans une même scierie par exemple → plus grande variabilité des produits

Des considérations qui ont des conséquences importantes :

Potentiel énergétique des déchets

- un rapport : $\frac{\text{Potentiel énergétique des déchets}}{\text{Besoins en énergie}}$ plus favorable qu'en pays industrialisés
- des contraintes supérieures de mise en oeuvre (fractionnement...) à replacer dans un contexte économique spécifique (stabilité, disponibilité du capital et coût de l'argent) qui privilégie souvent le court terme.

2.3.3.2 - Des industries de seconde transformation

Les industries de seconde transformation sont celles qui utilisent des bois ayant déjà subi une première transformation. Le tableau ci-après donne quelques indications quant aux rendements habituels de la seconde transformation.

Résidus libérés lors de la seconde transformation (Rolin et Paré, 1980)

Type de transformation	Rendement (%)	Type de résidus	
		Gros (%)	Fins (%)
Meubles massifs	50-60	73	27
Sièges	50-55	54	46
Menuiseries industrielles	80	38	62
Menuiseries	60	68	32
Palettes	80	-	-
Parquets	40 ³	-	-

³ Rendement exprimé en % du volume de grumes (les autres industries fonctionnent sur un approvisionnement en avivés)

2.4 - LES PRODUITS DE PLANTATIONS FORESTIERES

Les produits de plantation à usage énergétique résultent de deux sources :

- les sous-produits de plantations pour la production de bois d'oeuvre, de bois de service ou de bois à pâte,
- les produits de plantations spécifiques énergie.

2.4.1 - Les sous-produits des plantations à objectif principal non énergétique

Ils correspondent essentiellement aux produits d'éclaircie des plantations bois d'oeuvre et aux rémanents de l'exploitation de ces dernières et des plantations bois de service et bois à pâte.

Tous ces produits sont placés dans des conditions très voisines de leurs homologues en régions tempérées. Ils sont aisément mobilisables ; leur coût de mobilisation s'avère en général raisonnable (conversion manuelle, investissements modérés envisageables).

Les seuls écueils à leur mobilisation résultent de la distance des plantations par rapport au centre de consommation et pour certains d'entre eux de leurs caractéristiques propres (bois juvéniles tendres et légers par exemple).

2.4.2 - Les produits de plantations énergétiques

Ce type de plantations se développe rapidement et avec succès dans certains contextes à l'initiative du secteur privé (plantations industrielles pour l'alimentation de la sidérurgie brésilienne, plantations paysannes autour de Kigaly au Rwanda ou en pays Bamiléké au Cameroun).

Les initiatives gouvernementales passent moins bien au plan économique, souvent parce que placées dans des contextes moins favorables.

Les plantations de bois énergie sont parfaitement maîtrisées. Un matériel végétal amélioré largement disponible garantit de bonnes performances.

L'exploitation des plantations énergétiques relève de toutes les techniques développées dans les pays tempérés industrialisés ou non. La taille des produits favorise les pratiques manuelles économiquement favorables en PED.

2.4.2.1 - Technique classique

Les bois sont abattus à la hache ou scie à chaîne, ébranchés et tronçonnés sur place (1 à 2 m). Le débardage s'effectue manuellement, à l'aide d'animaux ou d'un tracteur et une remorque équipée ou non d'un grappin jusqu'à une route carrossable, d'où le bois est évacué par camion vers le centre d'utilisation ou de commercialisation. Cette méthode est bien adaptée à l'exploitation de petites parcelles. Les résidus sont constitués par les branches et le houppier de l'arbre ainsi que par la souche.

2.4.2.2 - Exploitation en bois en long

La méthode, plus intégrée, consiste à abattre les arbres, les ébrancher, les débarder en long et les conditionner soit en bordure de chemin, soit dans un chantier central. Elle peut être pratiquée par traction animale ou mécanique mais non par le débardage manuel.

2.4.2.3 - Récolte des rémanents

Les techniques habituelles de récolte laissent éventuellement sur coupe des houppiers, des branchages et des souches. Les quantités récupérables sont fonction des peuplements exploités.

Récolte des houppiers et branchages : Le handicap majeur des houppiers et branchages est leur grand foisonnement qui résulte de leur forme irrégulière (75 à 150 kg/m³). Dès lors, compte tenu de la relativement faible quantité de matière sèche récoltable à l'hectare, il faut des conditions particulières pour que l'opération soit rentable : nécessité de nettoyer le parterre de la coupe, grande exploitation, etc... .

Récolte des souches : Dans la plupart des cas, la récolte des souches n'est envisagée que pour permettre des opérations ultérieures : culture, reboisement mécanisé, etc... . La matière ligneuse des souches peut être une source d'énergie. Les quantités récoltées à l'hectare et les difficultés d'extraction sont très étroitement liées à l'essence, au diamètre des souches et au type d'enracinement.

Compte tenu du grand foisonnement des résidus de l'exploitation des plantations énergétiques, la mise en plaquettes correspond souvent à la seule solution pour homogénéiser la granulométrie, favoriser la manutention, réduire le coût du transfert et permettre un stockage adapté. Cette mise en plaquettes peut également être prévue pour les arbres de petites dimensions ou les cultures ligneuses à courte évolution. Cette opération peut intervenir à différents stades de la filière de récolte : sur coupe, en bordure du chantier, sur un site spécialisé ou en usine. Tout dépend du contexte local, de l'ampleur des opérations, du volume à traiter annuellement, etc... .

Les produits qui en résultent présentent des caractéristiques (même essence sélectionnée, dimension adaptée...) qui en font des combustibles facilement conditionnables et bien adaptés tant aux utilisations domestiques et artisanales qu'industrielles.

2.5 - QUELQUES ELEMENTS ECONOMIQUES

Le tableau ci-après compare en % (valeur de base : tonne de matière sèche en provenance de la forêt naturelle ivoirienne) les prix de revient escomptables pour l'alimentation industrielle d'unités de forte capacité (sidérurgie, unité de production de méthanol, cimenterie...).

**Approvisionnement en bois tropicaux des industries utilisant
la biomasse forestière à des fins énergétiques**
(L. VERGNET et al, CIRAD-Forêt 1983).

PROVENANCE DES BOIS	Prix de revient du bois sur pied en %	Coût de la récolte et de transport à l'usine ou au parc en %	Coût de la tonne de matière sèche entrée usine sur camion
Forêt naturelle hétérogène :			
. Cas type - forêt facile	PM	100	100
. Cas type - forêt difficile	PM	116	116
Plantations sur savane:			
. Cas type -savane côtière	18	75	93
. Cas type - savane intérieure	31	77	108
Après exploitation de la forêt naturelle			
. Cas type - forêt difficile	43	92	135
. Cas type - forêt facile	31	75	106

On remarquera que les produits plantés ne sont pas plus coûteux que les produits résultant de la forêt naturelle cela malgré la prise en compte de leur coût sur pied alors que les produits sur pied naturels sont considérés comme gratuits.

Par ailleurs, la comparaison concerne des grumes sur camion donc des produits non conditionnés. Le conditionnement des produits de plantation plus facile est beaucoup moins coûteux leur donne un avantage que confirme définitivement leurs caractéristiques (homogénéité, régularité...). Notons enfin qu'une exploitation manuelle apparait de nature à améliorer encore la compétitivité des produits artificiels auxquels elle est plus facilement applicable.